



ZUSAMMEN- FASSUNG

Historische Luftbilder sind ebenso wie historische Karten ein wertvolles Kulturgut, das in jüngster Vergangenheit zu einem zunehmend hohen Interesse bei der Bevölkerung und in der Verwaltung hervorruft. Nicht zuletzt aus diesen Gründen hat sich das Land Baden-Württemberg dazu entschieden, große Teile der am Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung (LGL) vorliegenden analogen Luftbildsammlung zu digitalisieren und vor dem chemischen Verfall zu schützen. Im folgenden Beitrag soll u. a. der Arbeitsablauf aufgezeigt werden, welcher im Rahmen des Projektes **Digitaler Luftbildatlas BW (DLBA)** als Teil der Digitalisierungsstrategie **digital@bw** des Landes Baden-Württemberg ausgearbeitet wurde und derzeit umgesetzt wird. Mit Hilfe einer Orthorektifizierung können die historischen Luftbilder noch besser nutzbar gemacht und der Bevölkerung, der Wirtschaft, der Verwaltung und der Wissenschaft über das Geoportal Baden-Württemberg und mittels Geodatendiensten zur Verfügung gestellt werden.

Welchen Wandel hat meine Stadt in den vergangenen Jahren erfahren? Wie sah die Landschaft aus, bevor der Flughafen erbaut wurde? Welchen Schaden hat meine Region innerhalb des Zweiten Weltkrieges erfahren? Wie hat der Mensch die Landschaft in den vergangenen Jahrzehnten bzw. im letzten Jahrhundert anthropogen verändert? Welche Auswirkungen bringen Naturkatastrophen mit sich? Das sind Fragen, auf die im Rahmen des **digital@bw**-Projektes **Digitaler Luftbildatlas BW** Antworten gegeben werden.

Die Umwelt, als unser Lebensraum, wird über viele Generationen durch äußere Einflüsse geprägt. Historische Luftbilder repräsentieren einen Eindruck von oben und vermitteln uns ein realistisches Bild der Entwicklung der Landschaft. Diese Luftbilder spielen heute für viele sicherheits-, planungs- und umweltrelevante Untersuchungen eine wesentliche Rolle. Sie enthalten einzigartige Informationen aus einem Zeitraum, in dem große Flächen durch Nutzungen bzw. Einwirkungen wie bspw. während des Zweiten Weltkrieges, durch Naturkatastrophen und anthropogene Einflüsse beeinflusst wurden. Diese historischen Luftbilder lagern oftmals ungenutzt in den Luftbildarchiven der Länder. Aktuelle Geodaten werden derzeit in großen Mengen erhoben, genutzt und archiviert. Doch was geschieht mit den alten, analogen, historischen Luftbildern? Dieser Beitrag liefert einen konzipierten Arbeitsablauf zur Digitalisierung der historischen Luftbilder beim LGL und hat außerdem das Ziel, einen allgemeinen Überblick über historische Luftbilder zu geben, sowie wesentliche Grundzüge der zeitgemäßen Auswerte- und Anwendungsmöglichkeiten darzustellen.

1. EINLEITUNG

Erste Bildaufnahmen

Die ersten raumbezogenen Fernerkundungsdaten gehen auf das Jahr 1858 und den französischen Photographen G. Tournachon, genannt Nadar, zurück. Dieser machte aus einem Ballon über Paris eine Reihe von Bildern (HILDEBRANDT 1987). Die Ballonphotographie startete. Aus der Königlich Preußischen Luftschiffer-Abteilung stammen die ältesten bekannten Luftbildaufnahmen unter Leitung von Leutnant Hugo Freiherr von Hagen – aufgenommen im Jahr 1884. Er wird zudem auch als der deutsche Pionier der Luftbildaufnahme genannt, der Schrägbilder oder Senkrechtaufnahmen erzeugte. Versuche, Bilder aus der Vogelperspektive aufzunehmen, wurden mit Hilfe verschiedener Techniken gemacht, so bspw. mit verschiedensten Formen von Drachen und Brieftauben. Letztere wurden mit leichten Kameras (ca. 70 g) ausgestattet, sodass automatisch ausgelöste Panoramabilder über eine räumliche Distanz von bis zu 100 km entstanden (ALBERTZ 2009). Auch Photoraketen kamen im Jahr 1903 von dem sächsischen Ingenieur Adolf Maul zum Einsatz, dessen System im Balkankrieg (1913) auf bulgarischer Seite erfolgreich eingesetzt worden sei (STENGER 1950). Die Entwicklung der lenkbaren Luftschiffe ermöglichte das systematische Fotografieren, welches, mithilfe von Motoren, im Laufe des ersten Weltkrieges einen enormen Aufschwung erlebte (ALBERTZ 2009). Der Einsatzbereich und das Leistungsvermögen haben sich in den letzten Jahren aufgrund der bedeutenden technologischen Entwicklung zunehmend erweitert. Eine Zunahme an diversen Plattformen, eine Weiterentwicklung der Sensoren und ein hoher Integrationsgrad z.B. die Verschmelzung von bildgebender mit Navigations- und Vermessungssensorik sind festzustellen (HEIPKE 2017).

Erste Bildaufnahmen – Baden-Württemberg

Die ersten Luftbildaufnahmen der früheren Länder Baden und Württemberg stammen aus den Jahren 1910 bis 1920, d. h. aus der Zeit des Ersten Weltkrieges. Diese Bilder militärischen Ursprungs decken größtenteils die Grenzgebiete ab, wie bspw. das Gebiet um Mühlhausen und Neubreisach u.v.m. (vgl. Abbildung 1, 2 und 3). Die historisch wertvollen Exemplare lagern in den Archiven des Landes Baden-Württemberg. Im Folgenden werden einige Aufnahmen des Badischen Armeekorps aufgezeigt.

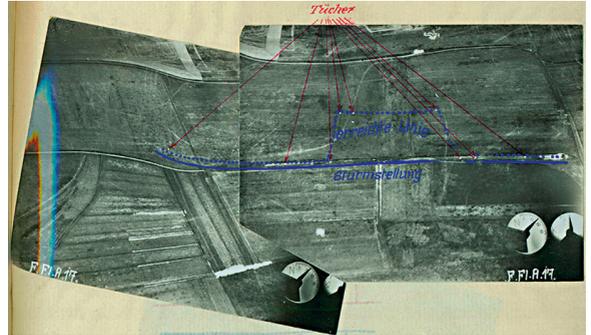
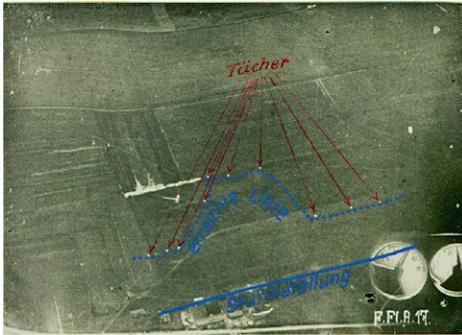


Abbildung 1: Foto eines Übungsgeländes mit Sichtzeichen 1916 – Links: Signatur 456 F 1 Nr. 116 Foto 5; Rechts: Signatur 456 F 1 Nr. 116 Foto 3 (Generallandesarchiv Karlsruhe 2019)



Abbildung 2: Links: Aus der Denkschrift des Kommandeurs der Flieger beim Armee-Oberkommando über Versuche, die Artilleriestellungen gegen Fliegersicht zu tarnen / 31. Januar 1918 – Foto eines getarnten Karrens aus 3.000 m Höhe, Signatur: 456 F 2 Nr. 405 Foto 3; Rechts: 1911 Neubreisach (heute: Neuf-Brisach, Frankreich) Ballonhöhe 1800 m, Signatur: 456 F 5 Nr. 337 Foto 3 (Generallandesarchiv Karlsruhe 2019)



Abbildung 3: Foto eines Übungsgeländes mit Sichtzeichen und Magnesiumfackeln, Signatur: 456 F 1 Nr. 374 Foto 2 (Generallandesarchiv Karlsruhe 2019)

Bestand beim LGL

Die Luftbildsammlung des LGL ist ein einzigartiges Kulturgut. Sie umfasst Momentaufnahmen der Landschaft seit den 1940er Jahren bis in die heutige Zeit. Dazu gehören – neben den jüngeren digitalen Luftbildern – rund 400.000 analoge Aufnahmen bis 2008. Typische Materialien historischer Luftbildaufnahmen waren bspw. Glasplatten, Nitrat-, Acetat- und Polyesterfilme. Am LGL lagern ausschließlich Polyesterfilme, welche die Landschaft Baden-Württembergs der vergangenen Jahrzehnte flächendeckend und in hoher Genauigkeit dokumentieren. Alterungsbedingter Zerfall und die häufige Nutzung bedrohen einen großen Teil der wertvollen Originale. Durch chemische Reaktionen sind einige analoge Luftbilder bereits angegriffen, sodass man mittels Digitalisierung die wertvollen Originale für die Zukunft sichert und diese gleichzeitig besser zugänglich macht. Bestandteile der analogen Luftbildsammlung sind u. a.:

- die ersten Luftbildaufnahmen von 1934,
- die vom Kampfmittelbeseitigungsdienst überlassenen Kriegsluftbilder (US Air Force, Royal Air Force) aus den Jahren 1940 bis 1945,
- Einzelbefliegungen von Forst, Bundeswehr und des Landesamtes für Umweltschutz (LfU) aus den 1950er-Jahren,

Unsere analogen Luftbilder/Bildflüge

Erste Luftbildaufnahmen einzelner Landesteile	Kriegsluftbilder/ Streitkräfte	Luftbilder	Zyklische, analoge flächendeckende Bildflüge im 5 - Jahres - Zyklus	Zyklische <u>digitale</u> Bildflüge im 3 - Jahres - Zyklus
Luftbildkarte des Bildplanwerkes Deutsches Reich und Aufnahmen der Deutschen Luftwaffe	Inselartige Befliegungen amerikanischer und englischer Flieger sowie der Alliierten nach dem Zweiten Weltkrieg (F, GB, USA)	Einzelbefliegungen der Forstverwaltung, Luftaufnahmen des Landesamts für Umweltschutz (LfU) und Bundeswehrflüge	Regelmäßige flächendeckende Befliegungen sowie Aufnahmen außerhalb der Reihe/Sonderflüge	Regelmäßige flächendeckende Befliegungen mit Digitalkamera
1934 - 1936	1940 - 1953	1952 - 1965	1968 - 2008	ab 2009
ca. 127 Stk.	Kriegsluftbilder UK 53.594 Stk. (1940-1945) US 50.716 Stk. (1945) Streitkräfte Französische 1.300 Stk. (1951) Amerikanische 2.700 Stk. (1950-1953) Stuttgart u. Umgebung 380 Stk. (1944)	Forst 1.200 Stk. (1952-1957) Bundeswehr 3.400 Stk. (1958-1965) LfU 7.500 Stk. (1955-1965)	Straßendatenflug 17.800 Stk. (1968) Flurbereinigung 102.518 Stk. (1966-1984) Katasterbildflüge 4.200 Stk. (1967-1978) OF - Befliegungen 57.175 Stk. (1968-2008) Höhenziellern - Bildflüge 4.000 Stk. (1969-1981) DGK5 Bildflüge 11.127 Stk. (1970-1990) Bodenseeuferbefliegung 1.500 Stk. (1986+1989)	

Abbildung 4: Analoges Luftbildbestand am LGL

- die Luftbilder der ersten landesweit durchgeführten Straßendaten-Befliegung aus dem Jahr 1968 sowie
- die regelmäßigen Befliegungen im 5-Jahres-Turnus im Rahmen der topographischen Landesaufnahme von 1968 bis 2008.

Seit dem Jahr 2009 wurde digital und in einem 3-Jahres-Turnus die Landschaft dokumentiert (vgl. Abbildung 4).

Kriegsluftbilder

Im Zweiten Weltkrieg waren Luftbilder ein wichtiges Medium für ein Monitoring der Landschaft wie z.B. für den Aufbau und Betrieb von Rüstungsstandorten und Flächenbombardements. Als der Weltkrieg beendet war und die Alliierten sich ein möglichst vollständiges Bild des wahren Ausmaßes der räumlichen Zerstörungen machen wollten, begann die „Trolley“-Mission vom 7. bis 12. Mai 1945. Die Flugstrecke ging über Holland nach Nord-, West- und Süddeutschland, über die zerstörte Reichshauptstadt Berlin und das Ruhrgebiet. Fotografiert wurde aus den Maschinen, aus welchen nur wenige Wochen zuvor tödliche Bomben über Deutschland gefallen waren (GUNKEL 2010). Bei diesen Flügen sind Dokumente der Verwüstung und der Zerstörung entstanden. Analoge Luftbilder, die bei Überflügen der US Air Force und Royal Air Force über Baden-Württemberg produziert wurden, lagern beim Kampfmittelbeseitigungsdienst (KMBD) und im Archiv des LGL. Etwa 100.000 analoge Luftbilder zeigen die Ausmaße des Zweiten Weltkrieges auf die Landschaft Baden-Württembergs (vgl. Abbildung 5).

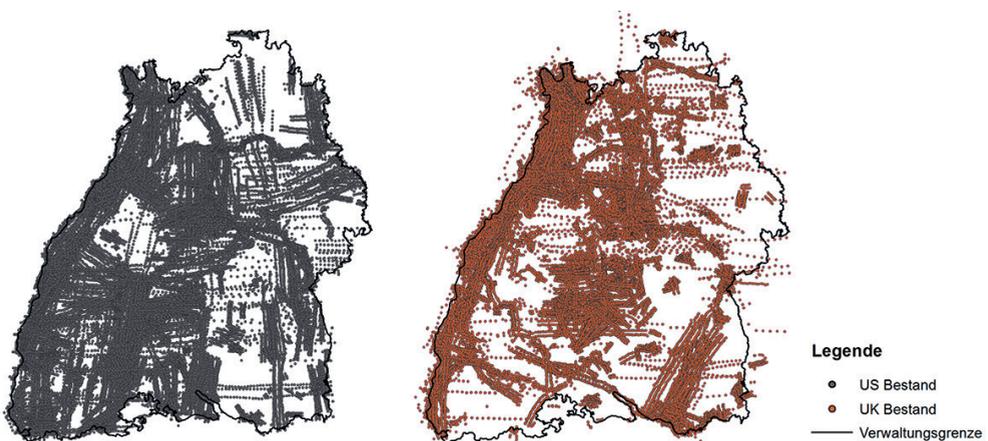


Abbildung 5: Lokalisierung der Aufnahmen von Luftbildern nach Beendigung des Zweiten Weltkrieges (1944 & 1945)

3. PROJEKT DIGITALER LUFTBILD- ATLAS & DIGITALE TRANSFOR- MATION

Gestützt durch das im Jahr 2018 initiierte **digital@bw**-Projekt wird in den nächsten Jahren beim LGL ein Maßnahmenplan zur Erschließung und Erhaltung des Kulturgutes umgesetzt. In einem ersten Schritt werden die historischen Luftbilder aus der Zeit von 1986 bis 1991 digitalisiert, georeferenziert und entzerrt. Gemeinsam mit bereits vorhandenen Orthophotos des Straßendatenflugs aus dem Jahre 1968 und den Orthophotos aus den Jahren 1998, 2003, 2008, 2011, 2014 und 2017 (vgl. Abbildung 6) können Zeitscheiben verschiedener Luftbildepochen dargestellt werden. Nach Beendigung der 2. Bearbeitungstranche (1976–1981) kann die Fläche Baden-Württembergs somit zunächst alle 10 Jahre, dann alle 5 Jahre und letztendlich alle 3 Jahre flächendeckend abgebildet werden.

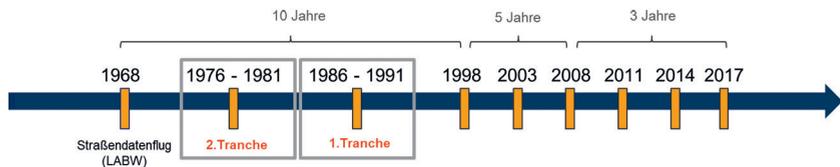


Abbildung 6: Übersicht der Tranchen, die innerhalb des Projektes DLBA bearbeitet werden

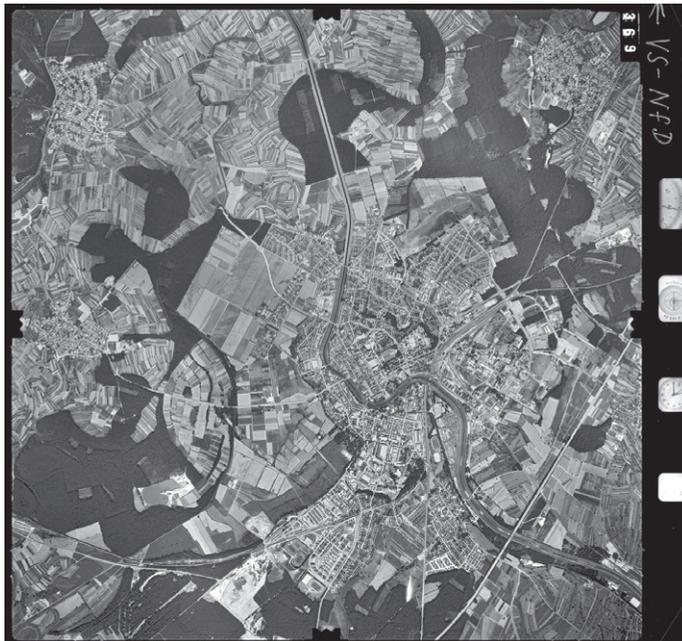


Abbildung 7: Klassisches analoges Luftbild mit Randinformationen aus dem Jahr 1975 (Rastatt)

Für die klassische Luftbildaufnahme wurden Reihenkameras (RMK) verwendet (ALBERTZ & WIGGENHAGEN 2009). Ein aus diesen Überflügen entstandenes analoges Luftbild zeigt Abbildung 7. Am Bildrand zu erkennen sind die vier schwarzen Rahmenmarken. Die Kanten sind jeweils in Himmelsrichtung orientiert. Im Falle einer Orthorektifizierung mehrerer Reihenaufnahmen werden diese Rahmenmarken für die innere Orientierung benötigt. Außerdem sind neben diesen Rahmenmarken weitere Zusatzinformationen (hier rechts am Rande des Digitalisates) wie Kamerakonstante, Bildnummer, Uhrzeit, Flughöhe usw. angebracht. Die Standardgröße dieser analogen Luftbilder beträgt 23 cm x 23 cm.

Aufbereitung der Metadaten/Fachdaten

Zu Beginn des Arbeitsablaufs steht zunächst eine digitale Aufbereitung der Zusatzinformationen eines jenen Fluges bzw. eines jeden Bildes an. Anhand von Flugübersichten (vgl. Abbildung 8a) sowie weiteren Informationen, die auf den Mappen eines jeden TK-Blattes angebracht wurden (vgl. Abbildung 8b), können diverse Metadaten gesammelt und

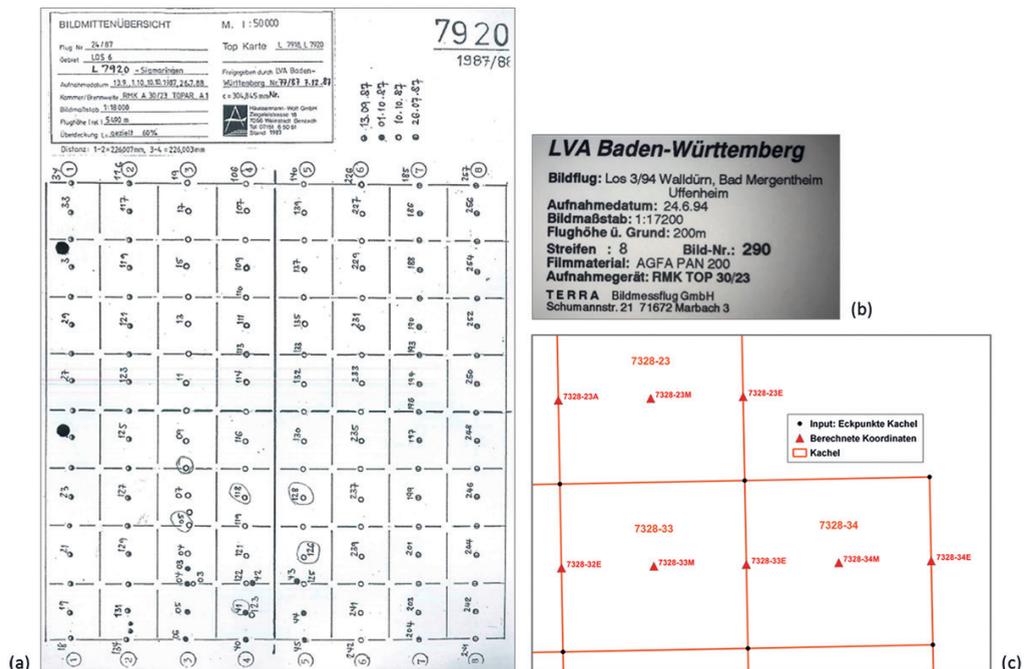


Abbildung 8: Übersicht der Befliegung nach der Topographischen Karte 1:50 000 (a); Zusatzinformation auf der Bildflugmappe (b); Verfahren zur Gewinnung der Bildmitten (c)

me für das Digitalisieren von Bildern und Karten, andererseits gibt es Systeme für die Aufnahme von Daten mit verschiedenen Sensorsystemen wie bspw. LiDAR zur Erfassung von Objekten in räumlichen Punktwolken (ALBERTZ & WIGGENHAGEN 2009). Fest steht, dass jeder Arbeitsschritt in der photogrammetrischen Produktion von der Qualität der Bilddaten abhängig ist (Gruber & Leberl 2001). Aus diesem Grund ist die Auswahl eines leistungsfähigen und akkuraten Aufnahmeegeräts von großer Bedeutung.

„Um den hohen Informationsgehalt der Bilder, ihre strenge Geometrie und ihren Grauwertumfang zu erhalten, sind spezielle Scanner für photogrammetrische Anwendungen gebaut worden.“ (ALBERTZ & WIGGENHAGEN 2009, S.123). Für die bisherigen photogrammetrischen Digitalisierungsarbeiten wurde am LGL der photogrammetrische Hochleistungsscanner „UltraScan5000“ von der Firma Vexel eingesetzt (vgl. Abbildung 10). Unter Verwendung eines Push-Broom-Linear-Array-Ansatzes und eines integrierten Selbstkalibrierungsverfahrens bietet er hohe geometrische Genauigkeit zusammen mit hoher radiometrischer Leistung und hoher Bildschärfe (Vexel 2008). Den Vorteilen des photogrammetrischen Scanners stehen Schwierigkeiten für eine „Massenproduktion“ gegenüber. Da der bestehende „UltraScan5000“ keine Bearbeitungsfunktion für Rollfilme hat und das Archiv größtenteils nur Einzelbilder umfasst, dauert eine Digitalisierung lange (ca. 15 min/Bild). Auch sind diese Scanner sehr sensibel und anfällig, weshalb hohe Wartungskosten auf das LGL zukommen würden. Um einfache Reproduktionen einzelner historischer Luftbilder bspw. zur Bildinterpretation ohne photogrammetrischen Hintergrund anzufertigen, kommt ein Flachbildscanner „IQ Smart 2“ am LGL zum Einsatz.



Abbildung 10: Links: Photogrammetrischer Hochleistungsscanner UltraScan5000; Rechts: IQ Smart 2



Abbildung 11: Hochleistungskamera iXM-MV150F (Monochrom) der Firma Phase One

Innerhalb des **digital@bw**-Projektes **Digitaler Luftbildatlas** ist es wichtig, dass digitale Produkte bei minimalen Einbußen der photogrammetrischen Qualität kostengünstig erzeugt werden können. Daher wurde eine neue Technologie, nämlich eine 150 Megapixel Kamera der Firma Phase One ausgewählt, welche derzeit in der Fotografie und in der Reproduktion von historischen Büchern und alten Schriften im Einsatz ist. Mit dieser Hochleistungskamera (vgl. Abbildung 11) lassen sich die analogen Luftbilder innerhalb weniger Sekunden digitalisieren. Auch fallen bei dieser Technologie geringere Wartungskosten an. Durch Verwendung eines Stativs und Auswahl eines optimalen Objektivs ist es möglich, vielfältige Formate (auch historische Karten) zu digitalisieren. Bislang gibt es kaum Institutionen, die ihren analogen Luftbildbestand mit Hilfe einer Kamera digitalisieren, weshalb es nur wenige Referenzen bei der Digitalisierung und bei der Weiterverarbeitung dieser Produkte gibt. So ist auch das LGL der erste Nutzer, der hierfür zu einer Hochleistungskamera der Firma Phase One greift.

Vor dem eigentlichen Digitalisieren sind Vorarbeiten notwendig. Mithilfe einer aktuellen, ausgedruckten TK-Karte kann eine Nordausrichtung der jeweiligen Luftbildstreifen ermittelt werden. Das Luftbild wird in einen speziell angefertigten Vorlagenhalter aus Glas mit dem Randstreifen nach links und einem positionierten Nordpfeil eingelegt. Mithilfe des Durchlichtes am Leuchttisch/Stativtisch wird ein Echtzeitbild direkt am Bildschirm des Rechners erzeugt. Letzte Staubkörner werden entfernt sowie die Position des Bildes überprüft. Ein Teil des Dateinamens (bis zum Flugstreifen d.h. Luftbild_Flugjahr_TK-Blatt) wird automatisiert in der Software vorangezeigt, wodurch nur noch der Streifen und die Bildnummer manuell eingegeben werden müssen. Das Auslösen wird durch einen Fußauslöser vereinfacht. Derzeit kommt das Objektiv „HR Digaron 100 mm Objektiv“ zum Einsatz. Das Auflösungsvermögen wurde mit

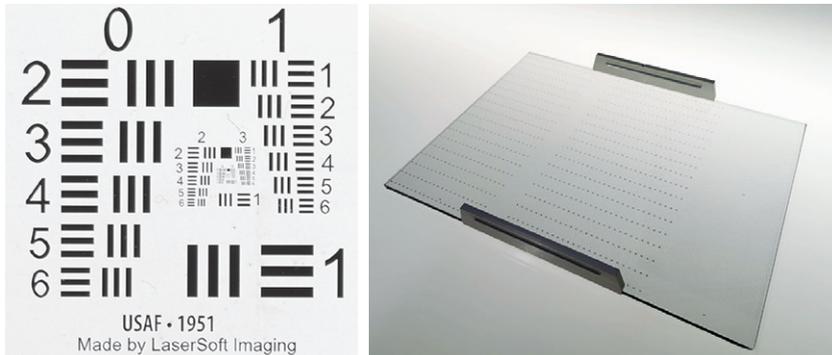


Abbildung 12: Links: Ermittlung des Auflösungsvermögens der Hochleistungskamera mit Hilfe eines USAF Test Chart; Rechts: Ermittlung der Verzeichnung mittels einer Reseau-Gitterplatte

Hilfe eines USAF Test Charts (vgl. Abbildung 12, links) ermittelt. Die Verzeichnung wird regelmäßig mit einer Reseau-Gitterplatte (vgl. Abbildung 12, rechts) überprüft. Je nach Ergebnis muss die Linse ggfs. nachjustiert werden.

Nach dem Digitalisieren wird eine Qualitätssicherung durchgeführt. Diese beinhaltet unter anderem einen Abgleich der Anzahl der Digitalisate mit der Anzahl der in der Metadaten-Tabelle enthaltenen Informationen zu jedem TK-Blatt. Da die Belichtungseinstellungen während der Aufnahmen nicht verändert werden, ist anschließend eine radiometrische Korrektur notwendig. Weiter werden die Luftbilder, die innerhalb eines Bildfluges teilweise große Qualitätsunterschiede aufweisen, radiometrisch angepasst. Dazu werden die Tonwertspreizung optimiert und wiederkehrende Bildinhalte wie Wald, Feldwege oder Wasser an standardisierte Tonwerte angeglichen (Bsp. 93 %, 15 %, 65 %). Abschließend werden die fertig bearbeiteten Dateien im Stapel abgearbeitet und als TIFF-Datei exportiert.

Produktion der Orthophotos

Zur Erstellung von Orthophotos sind die Arbeitsschritte der inneren und äußeren Orientierung, das digitale Matching, die radiometrische Anpassung und die Seamline-Berechnung durchzuführen. Die erreichbare Qualität historischer Orthophotos (hDOP) ist von der Qualität und Verfügbarkeit der Eingangsdaten abhängig. Für die Ableitung historischer Orthophotos sind verschiedene Rahmenbedingungen zu beachten so z. B. (AdV – Projektgruppe ATKIS-DOP 2019):

- Qualität der gescannten Luftbilder (Radiometrie, Rahmenmarken, Überdeckung, Bildmitten, ...)
- Verfügbarkeit von Kameradaten, Kalibrierschein/-protokoll
- Verfügbarkeit von Passpunkten
- Verfügbarkeit von Höhenmodellen
- Anvisierte Qualität der DOP (erreichbare Lagegenauigkeit, homogene Radiometrie, ...)

Das LGL führt für die meisten historischen Luftbilder nur genäherte Bildmittenkoordinaten (vgl. Abschnitt Aufbereitung der Metadaten/Fachdaten). Eine bessere Orientierung der Luftbilder wird erreicht, wenn genauere Bildmittenkoordinaten vorhanden sind. „Die Erreichbarkeit der Rahmenmarken in den Luftbilddaten ist besonders wichtig [...]. Fehlen die Kameradaten, insbesondere der Kalibrierschein, kann durch das Messen der Rahmenmarken die innere Orientierung der Kamera zumindest zum Teil rekonstruiert werden“ (AdV – Projektgruppe ATKIS-DOP 2019, S. 7). Die zu den jeweiligen Kameras gehörenden Kalibrierprotokolle sind nicht immer am LGL vorhanden. In solchen Fällen wird im Archiv der AdV recherchiert oder bei den Bildflugfirmen nachgefragt.

Um ein flächendeckendes Orthophoto generieren zu können, ist es erforderlich, die Luftbilder geometrisch zu korrigieren und in ein geodätisches Referenzsystem einzupassen. Für eine gute Orientierung eines Messbildes werden ausreichend Referenzpunkte/Passpunkte innerhalb des gesamten Bildverbandes benötigt. Es handelt sich dabei um Punkte im Gelände, deren Lage in X-,Y- und Z-Richtung bekannt ist und die in den Luftbilddaten eindeutig zu erkennen sind. Dadurch können die geometrischen Beziehungen zwischen dem Luftbild und der Geländeoberfläche hergestellt und die Transformationsparameter berechnet werden (ALBERTZ 1991). In den historischen Luftbildern des LGL ist es schwierig, die aktuellen amtlichen Vermessungspunkte auf der Geländeoberfläche zu identifizieren. Aus diesem Grund werden neue Passpunkte mithilfe eines aktuellen Orthophotos erzeugt. Dabei wird zwischen Vollpasspunkten, Lagepasspunkten und Höhenpasspunkten unterschieden. Geeignete Strukturen sind z.B. Gebäudeecken und Wegkreuzungen. Es ist darauf zu achten, dass die Passpunkte in mindestens zwei analogen Luftbildern sichtbar und messbar sind.

Für die Berechnung des hDOP wird zwingend ein Höhenmodell benötigt. Dieses Modell sollte möglichst aus einem Zeitraum stammen, der nahe an dem zu bearbeiteten Bildflug liegt. Daher wird ein Digitales Höhenmodell (DGM) aus dem Jahr 2005 mit einer 5 Meter Auflösung pro Pixel verwendet. Die Bestimmung der äußeren Orientierung erfolgt durch Bündelblockausgleichung. Durch das Generieren des Orthomo-

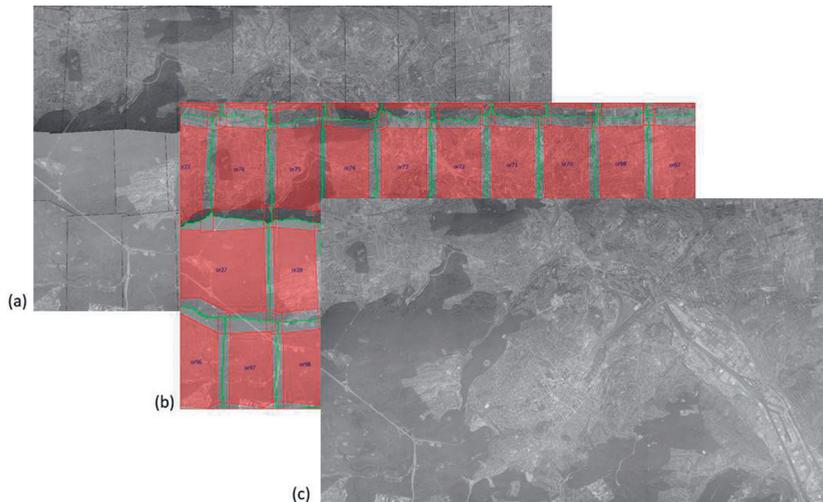


Abbildung 13: Arbeitsschritte der Produktion von historischen Orthophotos.
 (a) Innere und äußere Orientierung & Digitales Matching der Orthophotos,
 (b) Berechnung der Seamlines, (c) Ausgabe des fertigen Bildmosaiks

saiks, die Durchführung der Seamline-Berechnung, den Radiometrieausgleich und die Mosaikierung entsteht eine fertige DOP-Zeitscheibe von Baden- Württemberg (vgl. Abbildung 13). Die Bestimmung der inneren und äußeren Orientierung erfolgt nach Empfehlung des Lösungsansatzes der AdV (AdV – Projektgruppe ATKIS-DOP 2019).

Verwaltung

Die digitalen Produkte (Einzelluftbilder, abgeleitete historische DOP, aber auch historische Karten und Atlanten) werden mit den zugehörigen Metadaten auf langzeitlebende Art gespeichert und dem Vertrieb zugänglich gemacht. An die Verwaltung der Daten werden folgende Anforderungen gestellt:

- Dauerhafte, langzeitlebende Speicherung einer digitalen Version der Daten,
- Datenformat hersteller- und softwareunabhängig,
- Ablage und Verwaltung in einem Managementsystem,
- Recherchefunktionalitäten nach Attributen und räumlich,
- direkte Visualisierbarkeit der Daten vor dem Export (Preview),
- einfaches Auswählen und Exportieren der Digitalisate (Trefferliste) mit Anbindung an den Vertrieb,
- direkter Export der zugehörigen Meta- bzw. Sachdaten,
- Verwaltung gemäß einem Datensicherungskonzept.

4. VERWALTUNG UND BEREITSTELLUNG DER PRODUKTE

<p>Historische Luftbilder</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Kriegsluftbilder ❖ Nachkriegsbefliegungen u. Streitkräfte ❖ Befliegungen bis 2009 ❖ Befliegungen ab 2009 <p>Historische Orthophotos</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Historische DOP bis 2009 ❖ Historische DOP ab 2009 <p>Historische Kartenwerke</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Topographische Karten ❖ Topographische Atlanten

Abbildung 14: Objektklassen mit den verschiedenen Dokumenttypen

Nach der Auswahl einer geeigneten Softwarelösung wurden für die Verwaltung der Luftbilder verschiedene Objektklassen wie „Historische Luftbilder, Historische Orthophotos und Historische Kartenwerke“ angelegt. In jeder Klasse können Dokumenttypen (vgl. Abbildung 14) mit einem eigenständigen, dazugehörigen Datenmodell erstellt und Rollen angelegt werden. Eine übergreifende Recherche innerhalb der Objektklassen ist möglich, sodass nach einer Rechercheauswahl in einer Trefferliste historische Einzelluftbilder, hDOP sowie historische Karten angezeigt werden können. Die direkte Ansicht eines Previews erleichtert die finale Auswahl. Im Anschluss können das Digitalisat sowie auch die dazugehörigen Metadaten direkt heruntergeladen werden. Der bisherige hohe Arbeitsaufwand bei Kundenanfragen (Recherche, Gang in das Archiv, Digitalisierung) fällt hierdurch weg.

Bereitstellung

Die Zeitscheiben der hDOP dienen der Verwendung von GIS-Systemen in Form eines Geodatendienstes als individuell ein- und ausblendbare Ebenen (Layer). Teilausschnitte der DOPs von 1988, 1998, 2003, 2008, 2011, 2014 und 2017 liegen bereits als Geodatendienst (Web Map Service, WMS) auf dem Geoportal BW unter www.geoportal-bw.de als Pilotdienst (Raum Stuttgart) zur Verfügung. Mithilfe des Map Swipe Tools (Zeitschieberegler) kann bspw. in QGIS die Visualisierung bzw. eine Zeitreihenanalyse aus verschiedenen Epochen erfolgen (vgl. Abbildung 15). Die Bereitstellung ermöglicht eine Vernetzung der Digitalisate

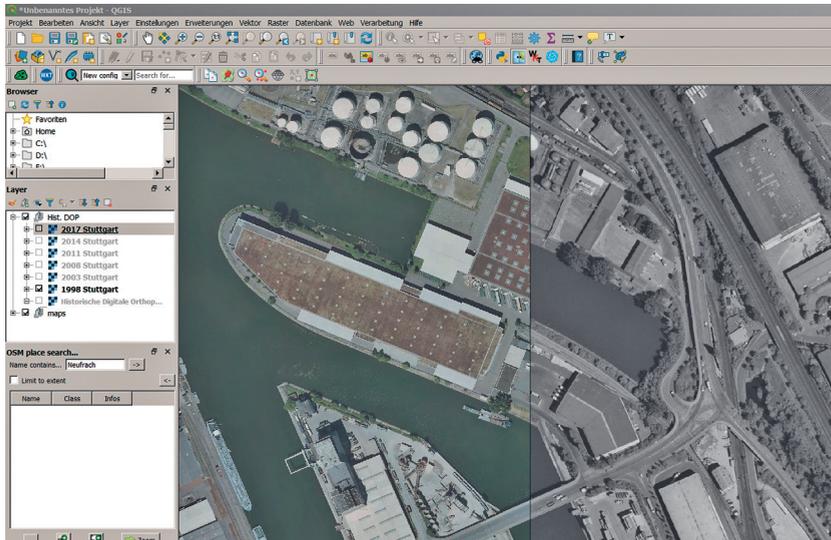


Abbildung 15: WMS-Dienst der historischen DOP in QGIS. Zu sehen ist der Stuttgarter Hafen im Jahr 2017 (links) und 1998 (rechts)

mit weiteren Geodaten anderer Stellen. Durch diese Datenfusion entsteht ein Mehrwert für Wirtschaft, Verwaltung und Wissenschaft.

Um die resultierenden Gefährdungspotentiale in ihrem zeitlichen Ablauf und ihrer räumlichen Ausprägung umfassend rekonstruieren zu können, bedarf es möglichst enger multitemporaler Bildsequenzen (CARLS ET AL. 1999). Historische Luftbilder lassen eine Rekonstruktion der Vergangenheit zu und wirken als analytisches Werkzeug. Es gibt sehr vielseitige Anwendungsbereiche, in denen historische Luftbilder sowie Zeitreihenanalysen zum Einsatz kommen. Änderungen in der Landschaft z. B. im Fall ehemaliger Industrie- und Straßenanlagen können über Jahrzehnte hinweg interaktiv analysiert werden und sind somit für die Straßen- und Siedlungsentwicklung im Zuge städtebaulicher Planungsprozesse nutzbar. Außerdem geben Veränderungsanalysen wie bspw. die land- und forstwirtschaftliche Nutzung, Veränderungen der Botanik bspw. durch Rodung Auskunft über eventuelle Nutzungsveränderungen und über den tatsächlichen Flächenverbrauch. Des Weiteren können Renaturierungsmaßnahmen durch Rückschlüsse auf anthropogene und natürliche Veränderungen von Fluss- und Bachläufen ergriffen werden. Als ein weiteres Einsatzgebiet im Bereich des Naturschutzes ist die Altlastenermittlung zu nennen. Kriegsluftbilder aus dem Zweiten Weltkrieg werden intensiv durch den Kampfmittelbeseitigungsdienst oder von

5. ANWENDUNGS- BEISPIELE

Planungs- und Ingenieurbüros genutzt, wie z. B. durch das Suchen nach Blindgängern, Waffenlagern, militärischen Stellungen und Anlagen, wodurch eine Abwendung von Gefahren möglich ist. Im Folgenden werden drei Anwendungsbeispiele anhand von Zeitreihenanalysen näher erläutert.

Seit dem Jahr 1922 dient eine große Fläche nördlich von Oeffingen als Produktionsstandort von Schotter und Kies (vgl. Abbildung 16, 1968, 1988). Es wurde gebaggert und gesprengt – heute ist jedoch nichts mehr davon zu sehen. Das einst 12,5 Hektar große Steinbruch-Areal zeigt anstelle einer Abbruchwand eine Erhebung des heutigen Oeffinger Bergs. Entstanden ist der Oeffinger Berg durch Auffüllung und Rekultivierung der ehemaligen Steinbruchfläche. Aufgeschüttet wurde teilweise mit Erde und Bauschutt bis zu hundert Meter hoch (vgl. Abbildung 16, 2017). Letztendlich war das Gelände ca. einen Meter über dem früheren Niveau. Die grüne Oase mit einem außerdem angelegten Krötenzirkel dient nun auch zum Verweilen von Spaziergängern mit einem Weitblick über die Region. Aus einem Steinbruch am Rand von Oeffingen wurde ein bekanntes Naherholungsgebiet (SCHMIERER 2017).



Abbildung 16: Monitoring naturräumlicher Veränderungen – Landnutzung, Naherholung (Oeffingen)

Am 26. Dezember 1999 wehte der Orkan Lothar mit Spitzengeschwindigkeiten von mehr als 200 km/h über Frankreich, die Schweiz und Südwestdeutschland hinweg. Auf dem Hohentwiel bei Singen wurden sogar 272 km/h gemessen (GRZESIAK 2019). In Abbildung 17 ist die Landschaft vor (1995) und nach dem Orkantief (2000) zu sehen. Die Auswirkungen sind ganz klar zu erkennen: riesige Waldflächen wurden zerstört.

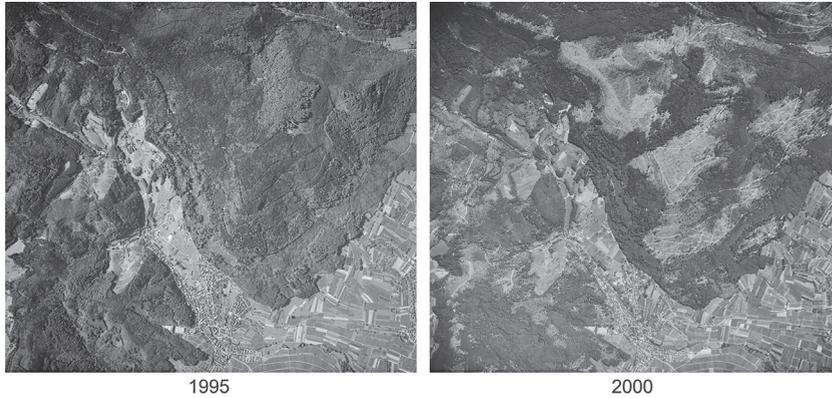


Abbildung 17: Monitoring naturräumlicher Veränderungen – Sturm Lothar (Oberschopfheim)

Abbildung 18 zeigt eine Zeitreihe zum Verlauf der Brenz vor Hermaringen in der Nähe der Hürbemündung. Als älteste Dokumentation des Verlaufs wurde eine historische Karte aus dem Jahr 1837 hinzugezogen. Deutlich zu sehen ist die spätere Begradigung des Flusses im Luftbild von 1944. Die natürlichen Mäander sind vor allem im südlichen Teil begradigt worden; Altarme zeigen noch den ehemaligen Verlauf. Durch Renaturierungsmaßnahmen bekam die Brenz später ihr natürliches Flussbett zurück (vgl. Abbildung 18, 2017), wodurch gleichzeitig ein Biotop für die heimische Flora und Fauna entstand. Ufergebiete wurden naturnah gestaltet und bepflanzt und Ackerflächen wurden zu Natur-

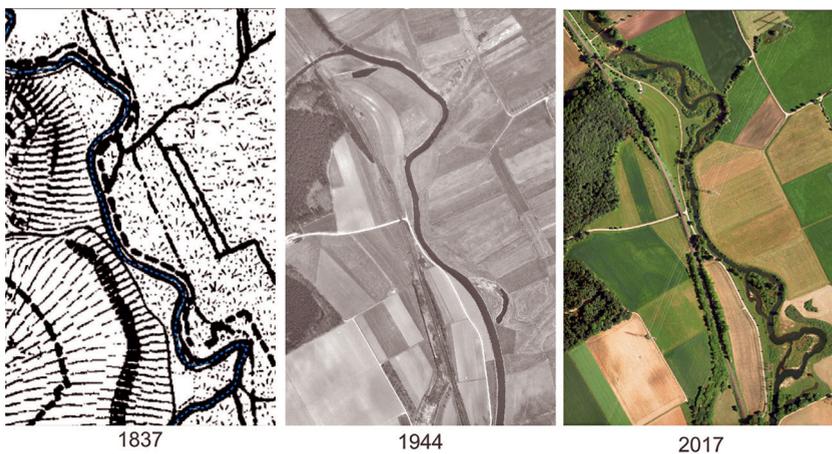


Abbildung 18: Monitoring naturräumlicher Veränderungen – Renaturierung (Brenz bei Hermaringen)

schutzgebieten umgewandelt. Daneben profitiert auch der Mensch von der Veränderung; es entstand ein Erholungsort für Jung und Alt (SUCKUT 2019).

Weitere Anwendungsbereiche für historischer Luftbilddaten liegen bspw. bei der automatischen Detektion von Bombenkratern aus Kriegsluftbildern (KRUSE ET AL. 2018). Eine automatische Rekonstruktion der Landschaft aus historischen Luftbildern öffnet neue Türen im Hinblick auf eine Veränderungsdetektion (RATAJCZAK ET AL. 2019).

6. FAZIT / AUSBLICK

Die im Rahmen des Projekts **Digitaler Luftbildatlas BW** laufende Digitalisierung der Luftbildsammlung des LGL ermöglicht eine Vernetzung der Digitalisate mit weiteren Geodaten anderer Stellen. Durch diese Datenfusion entsteht ein Mehrwert für Wirtschaft, Verwaltung und Wissenschaft. Eine Zeitreihenanalyse trägt dazu bei, Wachstum und Ressourcenverbrauch zu entkoppeln. Die Vergleichbarkeit historischer Luftbilder aus verschiedenen Epochen ermöglicht Planungs-, Kosten- und Rechtssicherheit für die Kommunen und die Fachbehörden des Landes. Der Digitale Luftbildatlas BW eröffnet somit einen zentralen Ansatzpunkt für innovative Anwendungen. Die ursprünglich analogen Luftbilder stellen ein Kulturgut dar, dessen nachhaltige und vereinfachte Zugänglichkeit für die Gesellschaft durch die Digitalisierung verbessert wird.

Bürgerinnen und Bürger können zukünftig eigenständig nach historischen Luftbildern mit Hilfe von Attributen, z.B. Jahrgängen, oder in einer räumlichen Suche recherchieren. Außerdem soll der Austausch unter den zuständigen Landesbehörden verstärkt werden. Ein internationaler Workshop „Geoprocessing and archiving of historical aerial images“ der EuroSDR, der im Jahr 2019 erstmals durchgeführt wurde und in Paris stattfand, hat die Länder miteinander vernetzt. Im Herbst 2020 soll die Veranstaltung wiederholt werden, um aktuelle, neue Wege der Digitalisierung, der DOP Berechnung sowie länderübergreifende Anwendungsbereiche vorzustellen und zu diskutieren.

- AdV – **PROJEKTGRUPPE ATKIS-DOP** (2019): Leitfaden für die Ableitung historischer Orthophotos. Version 1.0
- AdV – **PROJEKTGRUPPE ATKIS-DOP** (2018): Produkt- und Qualitätsstandard für Digitale Luftbilder des amtlichen deutschen Vermessungswesens. Version 3.1
- ALBERTZ** (2009): 100 Jahre Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e.V.. In: Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation 6/2009, S. 487–560
- ALBERTZ** (1991): Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern: Eine Einführung in die Fernerkundung. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt. S. 204
- ALBERTZ & WIGGENHAGEN** (2009): Taschenbuch zur Photogrammetrie und Fernerkundung. Wichmann, Heidelberg. S. 334
- CARLS H.-G. ET AL.** (1999): Luftbilder 1938–1958 zur Bundesrepublik Deutschland: Archive, Charakteristika, Nutzungspotentiale und digitale Auswertemöglichkeiten. Online unter: http://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:7XY-0JEUVDGJJ-scholar.google.com/+historische+Luftbilder&hl=en&as_sdt=0,5 (Abrufdatum 20.01.2020)
- Generallandesarchiv Karlsruhe (2019): Erweiterte Recherche. Online unter: <https://www2.landes-archiv-bw.de/ofs21/suche/erweitertesuche.php> (Abrufdatum 21.01.2020)
- GRUBER, M. & LEBERL, F.** (2001): Digitalisieren von Luftbildern. In: VGI-Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation 89 (1), S. 2–12
- GRZESIAK, P.** (2019): Stürme: Winterstürme Lothar, Martin, Kyrill und Klaus. Planet Wissen WDR. Online unter: <https://www.planet-wissen.de/natur/naturgewalten/stuerme/pwiewinter-stuermelotharmartinkyrillaundklaus100.html#Lothar> (Abrufdatum 10.01.2020)
- GUNKEL, C.** (2010): Historische Luftbilder: Fotoschüsse im Tiefflug. Spiegel. Online unter: <https://www.spiegel.de/geschichte/historische-luftbilder-fotoschuesse-im-tiefstflug-a-948892.html> (Abrufdatum 18.01.2020)
- HILDEBRANDT, G.** (1987): 100 Jahre forstliche Luftbildaufnahme – Zwei Dokumente aus den Anfängen der forstlichen Luftbildinterpretation. Bildmessung und Luftbildwesen (6): S. 221–224.
- HEIPKE, C.** (2017): Photogrammetrie und Fernerkundung. Handbuch der Geodäsie, herausgegeben von Willi Freuden und Reiner Rummel. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. S. 373
- KRAUS & SCHNEIDER** (1988): Fernerkundung: Physikalische Grundlagen und Aufnahmetechniken. Ferd. Dummlers Verlag, Bonn. S. 291
- KRUSE, C.; ROTTENSTEINER, F.; HOBERG, T.; ZIEMS, M.; REBKE, J.; HEIPKE, C.** (2018): Generating impact maps from automatically detected bomb craters in aerial wartime images using marked point processes. In: ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume IV-3
- POLI, D.; STUHL, M.; MOE, K.; BAUMANN, F.; BOLLMANN, E.; CASAROTTO, C.** (2019): 3D glacier monitoring with historical aerial images – from 1954 to today. Presentation at “Geoprocessing and Archiving of historical aerial images, Paris, 3–4 June, 2019”.

- RATAJCZAK, R.; CRISPIM-JUNIOR, C. F.; FLAURE, E.; FEVERS, B.; TOUGNE, L.** (2019): Automatic Land Cover Reconstruction From Historical Aerial Images: An Evaluation of Features Extraction and Classification Algorithms. In: IEEE Transactions on Image Processing. 28 (7): 3357–3371
- SCHMIERER S.** (2017): Fellbach von oben: In Oeffingen klafft keine Wunde mehr. Stuttgarter Zeitung <https://www.stuttgarter-zeitung.de/inhalt.fellbach-von-oben-in-oef-fingen-klafft-keine-wunde-mehr.12174db5-ba85-499f-a238-e9472a72217e.htm> (Abrufdatum 15.01.2020)
- STENGER, E.** (1950): Siegeszug der Photographie in Kultur – Wissenschaft – Technik. Heering Verlag, Seebruck. S.280
- SUCKUT, M.** (2019): Die Brenz: Der Brenzturm und die Renaturierung an der Hürbemündung. Online unter: <https://www.die-brenz.de/poi/der-brenzturm-und-die-renaturierung-an-der-huerbemueendung/> (Abrufdatum 15.01.2020)
- Voxel Imaging GmbH** (2008): UltraScan 5000: Precision Photogrammetric Scanning. Online unter: <http://ecogis.pl/vexcel-en.html> (Abrufdatum 27.01.2020)